

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-134518
(43)Date of publication of application : 21.05.1999

(51)Int.Cl.

G06T 17/00
G06T 15/00
// G06B 21/20

(21)Application number : 09-301638 (71)Applicant : MINOLTA CO LTD

(22)Date of filing : 04.11.1997 (72)Inventor : FUKUSHIMA SHIGENOBU
KARASAKI TOSHIHIKO

(54) THREE-DIMENSIONAL SHAPE DATA PROCESSOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To enable a user to grasp

the feature quantity of the shape of a three-dimensional data surface by having a look at the position and size by mapping a generated texture pattern to the three-dimensional shape surface.

SOLUTION: In a mapping mode process, feature quantities at respective points on a solid model surface are calculated and an image corresponding to the feature quantities is pasted on the solid model surface through texture mapping. On a texture formation surface set in a texture space in the texture mapping process, a texture pattern to be pasted on the solid model X like A is formed, mapping data representing the correspondence between a texture formation surface represented as texture space coordinates and a solid model X surface represented as coordinates (viewer coordinate) in the solid model space where the texture is pasted are set, and coordinate conversion from the texture space to the solid model space is carried out to form the texture on the solid model surface like Z



(19)日本国特許庁(JP) (12)公開特許公報 (A) (11)特許出願公開番号
特開平 11-134518
(43)公開日 平成11年(1999)5月21日

(51)Int. Cl.⁸ 識別記号 FI
G 0 6 T 17/00 G 0 6 F 15/62 3 5 0 A
15/00 G 0 1 B 21/20 A
// G 0 1 B 21/20 G 0 6 F 15/72 4 5 0 A

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 3 0 頁)

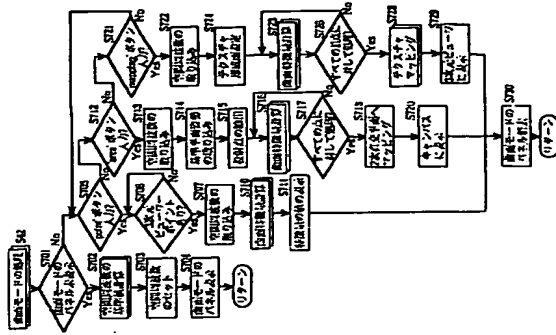
(21)出願番号 特願平9-301638 (71)出願人 000006079
ミノルタ株式会社
(22)出願日 平成9年(1997)11月4日 大阪府大阪市中央区安土町二丁目3番13号
大阪国際ビル
(72)発明者 福岡 茂信 大阪府大阪市中央区安土町二丁目3番13号
大阪国際ビル ミノルタ株式会社内
(72)発明者 唐崎 敏彦 大阪府大阪市中央区安土町二丁目3番13号
大阪国際ビル ミノルタ株式会社内
(74)代理人 弁理士 中島 司朗

(54)【発明の名称】 3次元形状データ処理装置

(57)【要約】

【課題】 3次元形状データ表面の形状上の特徴量を使用者が位置とその大きさを一見して把握できるようにすることを目的とする。

【解決手段】 特徴量取得手段が取得した3次元形状データにより表される3次元形状表面を構成する複数の点における形状上の特徴量を用いて、テクスチャ生成手段により前記3次元形状データ表面に対応づけられたテクスチャ形成面に、取得された各点の前記特徴量に基づき視覚的パターンを形成することによりテクスチャパターンを生成し、テクスチャマッピング手段により生成されたテクスチャパターンを前記3次元形状表面にテクスチャマッピングするように構成する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 3次元形状データにより表される3次元形状表面を構成する複数の点における形状上の特徴量を取得する特徴量取得手段と、

前記3次元形状表面に対比づけられたテクスチャ形成面に、取得された各点の前記特徴量に基づき視覚的パターンを形成することによりテクスチャパターンを生成するテクスチャ生成手段と、

生成されたテクスチャパターンを前記3次元形状表面にテクスチャマッピングするテクスチャマッピング手段とを有する3次元形状データ処理装置。

【請求項2】 前記特徴量取得手段は、前記3次元形状表面を構成する複数の点における形状上の特徴量を計算により取得する請求項1に記載の3次元形状データ処理装置。

【請求項3】 コンピュータを、

3次元形状データにより表される3次元形状表面を構成する複数の点における形状上の特徴量を取得する特徴量取得手段と、

前記3次元形状表面に対比づけられたテクスチャ形成面に取得された各点の前記特徴量に基づき視覚的パターンを形成することによりテクスチャパターンを生成するテクスチャ生成手段と、

生成されたテクスチャパターンを3次元形状表面にテクスチャマッピングするテクスチャマッピング手段として機能させるプログラムを記録したコンピュータで読み取り可能な記録媒体。

【請求項4】 前記特徴量取得手段は、3次元形状データ表面を構成する複数の点における形状上の特徴量を計算により取得する請求項3に記載の記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、計測対象の3次元形状データを用いて測定対象の物理的な性質を解析する3次元形状データ処理装置に関し、特に、計測対象表面の曲率等の特徴量を算出するものに関する。

【0002】

【従来の技術】近年、3次元の測定対象の物理的な性質を調べるために、測定対象をレンジファインダー等により測定対象を構成する複数の点（頂点）の空間的な位置を測定して3次元形状データとして取得し、当該3次元形状データを数学的手法を用いて解析することが行われている。

【0003】このような3次元形状データの解析においては、3次元形状データは空間的に位置を特定される点群により表されるので、3次元形状の表面にどのような凹凸があるかが一見してわかりにくい。そこで、3次元形状表面の曲率や微分値等の形状を数値特徴量を求め、これを定量的に評価する必要がある。従来、このような形状を表す特徴量は、XY平面上の格子点に高さの値

は図2(b)に示すように測定対象を立体モデル化する立体モデル（3次元形状モデル）とは測定対象を多面体近似で表現したポリゴンメッシュデータによるモデルであり、何千個、何万個の平面から構成される。

【0010】図2(c)に示すY201内の円は、図2(b)の立体モデルの円Y200に面まれる部分を拡大して表している。立体モデルを構成する個々の平面はポリゴンメッシュと称され三角形は四角形の形状を有する。なお、図2(c)のY201内には立体モデルデータが生成されていない箇所が存在する。これは光学的測定の反射光の読み取り不良によって生じた欠損部である。

【0011】立体モデルのデータ構造を図3に示す。立体モデルを表すデータは全頂点数・全ポリゴンメッシュ数の組と、ポリゴンメッシュリストと、頂点リストと、各頂点の3次元座標を示すリストである。また、ポリゴンメッシュリストは、各ポリゴンメッシュに付された識別子と、各ポリゴンメッシュを構成する頂点の値と、当該ポリゴンメッシュを構成する各頂点の識別子とを示すリストである。

【0012】ポリゴンメッシュリストにおける各ポリゴンメッシュを構成する頂点の識別子の配列順序は当該立体モデルを数値から見た時に左回りになるような順序であり、これにより各ポリゴンメッシュの表裏の識別、および、立体モデルの内部・外部の識別ができるようになる。ディस्क装置3には、立体モデルデータを取得したデータファイル4は20インチ以上の広々とした表示面を有し、ここに何枚かのウィンドウを配することができ、ディスプレイ4におけるウィンドウには『ビューワー(VIEWER)』、『キャンパス(CANVAS)』、『パナール』といった三つの種別がある。ビューワーとは3次元データ表示用のウィンドウであり、キャンパスとは2次元データ表示用のウィンドウであり、パナールとは各種操作ボタンや計測値を表示するためのウィンドウである。

【0014】なお、ビューワーの表示には、レンダリング処理によりその表面に陰影を付すことができ、テクスチャマッピング処理により模様・柄を張り付けることもできる。また、ビューワーの表示にはウィンドウの他にディスプレイやリアルタイムロググラフィック等を用いることも可能である。

【0016】ディスプレイ4の表示例を図4に示す。本図においてディスプレイ4の表示面には、3つのビューワー201～203と、4つのキャンパス204～207と、2つのパナール70、90が配置されている。ビューワー201には立体モデルデータの斜視像が表示され、ビューワー202には側面像

が表示され、ビューワー203は立体モデルデータの上面像が表示されている。キャンパス204～208には、立体モデルデータを切断した断面像が表示される。このようにキャンパスを複数配置しているのは、例えば、立体モデルの首回り、腰回り、胸回り等立体モデルの複数の断面を個別に表示させるためである。パナールには立体モデルの断面縦情報や、距離情報や表示したり、使用者の指示を入力するためのメニューリング処理操作パネルや、曲面モード時の特徴量の表示や使用者の指示を入力するための曲面モード処理用パネル等がある。

【0016】ビューワーにおける座標系と、キャンパスにおける座標系との対応関係を図5に示す。図5(b)においてビューワー系の座標は立体モデルデータの左下を原点としている。これに対してキャンパスにおける座標系は基準平面と呼ぶ仮想的な平面体の中心を原点とし、この平面上に設定されるX軸、Y軸を基準とする座標系を形成する。この基準平面は使用者が立体モデルのどの部分を計測し、修飾するか等を指定するために用いられる仮想的な平面体であり、ビューワーにおいて立体モデルと共に表示される。なお、基準平面の表側にあるポリゴンメッシュは座標において正の座標値をとり、裏側にあるポリゴンメッシュは座標において負の座標値をとるようにしてある。

【0017】基準平面について図6、図7を参照しながら説明する。図6(a)に示すように基準平面の中心位置には、キャンパス座標系のX軸Y軸Z軸が直交している。直交点がキャンパス座標系における原点となる。これらのX軸Y軸Z軸は基準平面と共に表示され、また、各軸は区別が容易なように異なる色に設定され、さらに、その正の部分と負の部分でも異なる色となるようにしてある。

【0018】図6(a)に示す基準平面は図6(b)に示すデータ構造で表現される。即ち基準平面は、法線ベクトル(p,q,r)と、ビューワー座標系で表された中心位置の座標(Xa,Ya,Za)と、線幅Lと、傾斜Lとを対応づけたデータ構造で表現される。ビューワー座標系において基準平面上の任意の座標(X,Y,Z)と法線ベクトル(p,q,r)との間には $p(X-Xa)+q(Y-Ya)+r(Z-Za)=0$ の関係が成立する。

【0019】また、基準平面は6自由度（3次元空間における位置と姿勢）を持つ。即ち、図7(a)に示すように、基準平面の姿勢は、使用者の操作に応じてXY軸2軸回りの矢印Rx,Ry,Rz方向に回転し、図7(b)に示すように、基準平面の位置はX軸Y軸Z軸の矢印mx,mym,z方向にスライドするようにしてある。マウス5及びキーボード6は、キャンパスやビューワー内の位置の指定や、各細パナールに設定されるボタンを指示し、数値を入力するための入力装置である。

【0020】GUIシステム7はイベント管理を行い、デ

イスプレイ4におけるキャンパス及びビューワーの割り当てや、各メニューを割り当てを制御する。メインメニュー8は、メインルーチンの手順を記述した実行形式のプログラムであり、メジャーリングモジュール9は、メインルーチンから分岐するメジャーリング処理や、その他の処理の手順を記述した実行形式のプログラムである。これらのモジュールはディスク装置3からメモリ上にロードされ、プロセッサ10によって逐一実行される。

【0021】プロセッサ10は、解読器、A/D、各種レジスタを具備した集積回路でありメインモジュール8、メジャーリングモジュール9の内容に基づいて各種3次元データ処理を制御する。なお、上記3次元データ処理装置は、光学的測定部1のデータを入力できるようにし通常のコンピュータを用い、当該コンピュータに以下に示す動作・機能を行わせるようなプログラムを内蔵させることによっても実現可能であり、当該プログラムはCD-ROMのような当該コンピュータで読み取り可能な記録媒体に記録することができる。

【0022】(2) 制御動作の概要

次に、図8のメインフローチャートを参照しながらメインモジュール8に基づいたプロセッサの制御内容について説明を行う。まず、ステップ10でプロセッサ10は、ハードウェアの初期化や各種ウィンドウの表示等の初期設定を行う。初期設定後、ディスプレイ4には立体モデルデータ取り込み処理、メジャーリング処理、その他の処理の何れを実行するかを使用者に問うI/Oメニューを表示する。ここで使用者が立体モデルデータ取り込み処理を選択するとステップ11がYesになりステップ12に移行する。

【0023】ステップ12ではプロセッサ10は光学的測定部1を起動し、光学的測定部1により測定対象にレーザを照射させ、その反射光を測定させる。レーザ照射が済むと、測定対象モデル化部2に測定結果に基づいて立体モデルデータが生成される。これにより図2の説明に示したような立体モデルデータが生成される。このように立体モデルを生成すると、ステップ17においてプロセッサ10は生成した立体モデルデータをビューワーに表示する。ステップ17によりディスプレイは、図4に示した表示例のような画面になる。この画面におけるカーソル位置は、GUIシステム7のイベント管理によって適宜移動する。

【0024】また、使用者が立体モデルデータの計画、修飾処理を選択するとステップ13がYesとなり、ステップ14へ移行する。この処理の内容については後に詳述する。使用者がこれら以外の処理を選択すると、S15がYesとなり、ステップ16へ移行し、プロセッサ10はデータの削除、交換等の加工処理や、立体モデルの回転、移動等の処理を行わせる。

【0025】(3) メジャーリング処理

横Y座標Z座標の最大値、最小値を探索する。ステップ102では、探索された最大値、最小値から立体モデルのXYZ各方向のサイズを計算する。ステップ101によって既に頂点の座標の最大値、最小値が探索されているから、これらに基づいて立体モデルデータの線のサイズ及び線のサイズが算出される。算出された各サイズは図10に示すメジャーリング処理操作パネル70上のモデルサイズ表示部81に表示される。

【0031】ステップ102の実行後、ステップ103においてプロセッサ10は計算された立体モデルの線のサイズ及び線のサイズに合うように基準平面のサイズを決定する。ここでは、基準平面の1辺を立体モデルのXYZ各方向におけるサイズの最大値に1.1倍を掛けた長さとする。ステップ103の実行後、ステップ104大値、最小値を用いて立体モデルデータの中央に据えた状態で図を計算し、その中心位置を算出する。ここで算出された位置が基準平面の中心位置となる。ステップ104が終了するとステップ105においてプロセッサ10はビューワーにおける中心位置に基準平面を据える。最後に、基準平面が立体モデルデータの中央に据えた状態でビューワー上に表示される。この際、基準平面の各軸の正負をそれぞれ色分けして表示する。

【0032】(3-2) 基準平面移動・回転処理
使用者によりメジャーリング処理操作パネル70の基準平面移動ボタン76又は基準平面回転ボタン77が操作されると、図9のステップ32より、基準平面移動・回転処理へ移行する。基準平面は使用者が立体モデルのどの部分を計測し、修飾するか等を指定するためのものであり、この指定された基準平面は使用者の意図に従って移動および回転させられる。図12に基準平面移動・回転処理のフローチャートを示す。

【0033】基準平面移動・回転処理には、基準平面回転ボタン77により起動される基準平面の姿勢を変える処理(1)と、基準平面移動ボタン76により起動される回転量及び(2)における移動量は使用者により入力されるイベント量によって決定される。イベント量は、ここでは図13に示す基準平面回転ボタン77、基準平面移動ボタン76をクリックすると表示される回転・移動量である。図13に示す基準平面回転ボタン77、基準平面移動ボタン76をクリックすると使用者がイベント量を入力する。具体的には、使用者は回転・移動量入力パネル90の各座標の入力位置をカーソルで指示して所望の値をキータイプすることでイベント量を入力する。

【0034】基準平面移動・回転処理では、まず、ステップ111においてこの使用者により入力されるイベント量が検出される。入力されたイベント量は各座標ごとに表示部91、92、93に表示される。使用者が確定ボタン94をクリックすると表示された入力値が確定されイベント量が受け付けられる。なお、イベント量の入

力はマウス5の進行操作により得られるマウス5に内蔵される球体の回転量を用いてもよい。

【0035】次に、ステップ112において基準平面回転ボタン77がクリックされた状態あるか否かが判断される。ここで、基準平面回転ボタン77がクリックされて状態である場合は回転量の入力がされたと判断され、ステップ113に移行する。ステップ113でプロセッサ10はステップ111において検出されたイベント量に基づいて各基準平面の回転量を計算する。ステップ113の実行後ステップ114に移行し基準平面を各基準平面にそれぞれ計算された回転量だけ回転する(図7(a)参照)。最後に、ステップ118に移行し、基準物体を回転により得られた姿勢により再表示する。その後、図9に示すメインルーチンへ戻る。

【0036】ステップ112でNoと判断されると、ステップ115へ移行し基準平面移動ボタン76がクリックされた状態であるか否かが判断される。ここで、基準平面移動ボタン76がクリックされた状態である場合は移動量の入力がされたと判断され、ステップ118に移行する。ステップ118ではステップ111で入力されたイベント量から各基準平面の移動量が計算され、さらに、ステップ117で計算された移動量が基準平面のビューワー座標系における原点座標値に加算される。即ち、ビューワー座標系における基準平面の中心座標値(Xa, Ya, Za)とすると、これにステップ35で算出された移動量が新たに加算される。これらの処理により、基準平面の位置はイベント量に応じて自在にスライドすることになる(図7(b)参照)。その後、やはりステップ57に移行し、基準物体を移動した位置に再表示し、図9に示すメインルーチンへ戻る。

【0037】以上のような動作により、使用者の指示に応じて基準平面と立体モデルの交叉角度を自由に变化させることができ、基準平面を自在にスライドさせることにより、立体モデルの切断位置を自在に切り替えることができる。

(3-3) 切断モード処理

図9のメインフローにおいて切断モード起動ボタン71が操作されるとステップ40の切断モード処理へ移行する。図14に切断モード処理を教すフローチャートを示す。図14のフローチャートに示すように、切断モード処理ではステップ61における断面データ計算処理で基準平面を切り口とした立体モデルデータの断面データを計算し、ステップ62の断面表示処理において計算された断面データに基づいてキャンパス上に断面像を表示する。それからステップ63の断面像決定処理において断面データに基づいてその断面像を計算し、ステップ64の輪郭長測定処理においてその断面の輪郭長を測定する。最後にステップ65の断面像・輪郭長表示ステップにおいて、断面像及び輪郭長を表示する。上記の各処理については以下にさらに詳述する。

【0038】(3-3-1) 断面データ計算モード
「断面データ」とは基準平面上の立体モデル間の交点、これらの交点を結ぶ線分列により立体モデルの断面を表現した情報である。断面データの算出の手順は図15から図17までのフローチャートで表現される。図15(a)(b)のフローチャートにおいて「断面」とは基準平面上に得られた標高の断面データのそれと、指示する交点である。断面データ計算処理では、まず、プロセッサ10はステップ201においてポリゴンメッシュの頂点座標をキャンパス座標系に変換する。それから、ステップ202では線分のつながり合わせ処理を行うため、図15(b)のフローチャートに分散する。図15(b)のフローチャートのステップ301では「交点」として「断面」を行うため図16のフローチャートに分散し、ステップ302では「線分列の連結処理」を行うため図17のフローチャートに分散する。

【0039】(3-3-2) 交点同士の連結処理
図16に示す「交点同士の連結処理」は、立体モデルと基準平面との交点座標の算出し、算出された交点間を結ぶ線分を生成する。交点同士の連結処理では、まず、ステップ403においてプロセッサ10は、1つのポリゴンの頂点座標の組み合わせについて座標の横(この場合、座標はキャンパス座標系の座標である。)が負であるかを判定し、負の場合は当該頂点を結ぶ線分とXY平面との交点を求める。即ち、座標の横が負であることはその組み合わせの頂点が、基準平面を介して対向していることを示す。例えば、図18(a)に示すような関係にある場合、ポリゴンメッシュ18(a)、P2、P3、P4、P5の頂点の組み合わせのうち、組み合わせ2601、組み合わせ2602、組み合わせ2603の頂点は基準平面を介して対向しているため座標は正負が反転し、その横は負になる。そこで、これらの組み合わせの頂点同士を直線で結び、図18(b)において「x」印に示すような基準平面との交点の座標を求める。以上の処理を全て、図18(c)に示すように、基準平面上に複数の交点を得ることができる。

【0040】続いて、ステップ405においてプロセッサ10は1つのポリゴンについて交点が2つ生成したかを判定し、もしそうであればステップ406においてプロセッサ10はその交点を結ぶ線分を生成する。例えば、図19(a)に示すように、ステップ402の処理で基準平面上に交点が得られたとすると、交点Y2701、Y2702は両方とも図18に示したポリゴンメッシュP1の交点であるので、図19(b)に示すように、これらを結ぶ線分Y2710生成される。同じく交点Y2702、Y2708もポリゴンメッシュP2の交点であるので、これらを結ぶ線分Y2711が生成される。

【0041】(3-3-3) 線分列の連結処理

交点同士の連結処理が終わると線分列の連結処理へ移行する。「線分列」とは基準平面上の立体モデルの輪郭線を表現するための折れ線であり、交点同士の連結処理で生成した線分をつなぎ合わせることによって生成する。図17に「線分列の連結処理」の具体的な手順を示す。本フローチャートにおいて「線分列」とは基準平面上の個々の線分を指示するための変数であり、「線分列1」とは線分1を含む線分列を指示するための変数である。

【0042】線分列の連結処理では、まず、ステップ502で線分1について端点座標と一致する端点を有する線分が存在するかを判定する。かかる線分が存在する場合は線分を含む線分列iを抽出し、線分を線分列iに連結する。以上の処理が全ての線分k(k=1,2,...n)について繰り返されると、例えば図19(b)に示す線分群は、図19(c)に示すように基準平面上の折れ線状の線分列となる。なお、図19(c)においてY2704、Y2705、Y2706、Y2707間では直線で結ばれていない。これは欠損部が基準平面上に表れた結果である。

【0043】(3-3-4) 断面データ判定処理
「線分列の連結処理」を終えると、図15(b)のステップ303に移行して、全ての断面iが閉じているのか、開いているかを判定する。ステップ305においてプロセッサ10は、断面iについて線分列の開始点と終了点とが一致もしくは所定距離の範囲内にあるかを判定する。もしそうであれば、当該断面iにおいて断面積フラグFiを断面が閉じていることを示す0に設定する。一方、図19(c)の交点Y2704-交点Y2705、交点Y2706-交点Y2707間のように線分列の開始点と終了点間が所定距離以上離れている場合はステップ307において最寄りの線分列を探索する。探索で線分列が見つかったと、ステップ308においてプロセッサ10は線分列との距離が所定値以上開いているかを判定する。もし、所定値以上開いていない場合は当該線分列と接線して再びステップ305に戻る。一方、所定値以上開いていれば、ステップ310に移行し当該断面iについての断面フラグFiを断面が開いていることを示す1に設定する。以上の処理を全ての断面i(i=1,2,...n)について終了すると、図15(a)におけるステップ203に戻る。ステップ203では、断面データの頂点をキャンパス座標系に変換する。ステップ203の実行後、ステップ204に移行して断面の輪郭を作成する。

【0044】(3-3-5) 断面表示処理
図14のステップ62の断面表示処理では線分の連結体として表現された輪郭線を断面像としてキャンパスに投影する。この表示において、前記断面フラグFiを参照して、輪郭線が閉じた断面が開いた断面かによって表示を変える。即ち、Fi=0で輪郭線が閉じた断面である

場合は、当該断面を「緑色」で断面内面を塗り塗りしてキャンパスの1つに表示する。この塗り塗りとは、既存のグラフィックスシステムで実装されている色彩変換アルゴリズムで簡易に実現される。一方、Fi=1で輪郭線が開いていれば「灰色」で断面を示す交線のみを表示する。これは上記の色彩変換アルゴリズムで輪郭線が開いている断面内を塗り塗りすると断面外の部分をも誤って塗り塗りしてしまうからであり、基準平面の交線のみを色で描出するのみに留めるものである。

【0045】(3-3-6) 断面線測定処理
図14のステップ63の「断面線測定処理」では、基準平面における断面像を多角形近似で計算する。即ち、図20(a)に示すような断面を構成する交点を算出されている場合、図20(b)に示すように隣合う交点と原点により構成される三角形の面積(Sum1、Sum2、Sum3...)を総和することにより断面像を計算する。各三角形の面積は原点から隣り合う交点へ向かうベクトルの外積もとに計算する。なお、原点が断面の外側に位置する場合、断面の輪郭の外側に接するベクトルにより形成される三角形の面積は負の値に、断面の輪郭の内側に接するベクトルにより形成される三角形の面積は正の値にすることにより断面像を得ることができる。

【0046】(3-3-7) 輪郭線測定処理
図14のステップ64の「輪郭線測定」では、断面の輪郭線を折れ線長(線分列長)に近似して計算する。例えば図20(a)のように交点が得られている場合には、隣合う交点により構成される各線分の和(Len1+Len2+Len3+Len4+...)により輪郭線長が算出される。なお、断面が開いている場合は、輪郭線の始点・終点の距離を輪郭線Lenを加算する。

【0047】以上の処理が終わると、図14のステップ65により算出された断面像及び輪郭線長をメジャーリング処理操作パネル700の断面情報表示部82に有効数字4桁で表示して切断モード処理を終える。

(3-4) 距離モード処理
図9のフローチャートにおいて、メジャーリング処理操作パネル700の距離モード起動ボタン72が操作されると、ステップ41の距離モード処理へ移行する。距離モード処理では、立体モデルデータが置かれた3次元空間における所望の距離が測定される。

【0048】ここでは立体モデル中の2点間の直線距離と、立体モデル表面を通る経路の長さを測定するものとし、さらに、経路長は、一平面上に存在する経路の最長と、一平面上に存在しない経路の最長の2種類に分けて処理を行う。図21に距離モード処理を致すフローチャートを示す。まず、距離モードが起動すると、ステップ601により図22に示す選択用パネル130がポップアップ表示される。選択用パネル130には2点間の直線距離を求めるモードに設定する2点モードを起動する2点モードボタン131、立体モデル表面の一平面

上に存在する経路長を求める3点モードを起動する3点モードボタン132、立体モデル表面の一平面上に存在しない経路長を求めるN点モードを起動するN点モードボタン133、処理を終了するためのキャンセルボタン134が設けられている。次にステップ602でこの選択用パネル130に対するモードの入力を持って、入力されたモードに応じた処理へ移行する。

【0049】(3-4-1) 2点入力モード処理
選択用パネル130から2点モードボタン131が操作されると、2点間の直線距離を求めるために、ステップ604で始点と終点の2点の入力が在るか否かを判断し、入力されていない場合はステップ605で入力を受け付け、このモードにおける点の入力は使用者がビューワーに表示されている立体モデル表面の一点をクリックするか、キャンパスに表示されている輪郭線の上の一点をクリックすることにより行われる。

【0050】2点の入力を受け付けるとメインルーチンへ移行し、再びステップ604へ戻る。ここでは2点の入力がされているので、ステップ606で当該2点の座標値が2点間の距離が算出され、ステップ607でメジャーリング処理操作パネル700の距離情報表示部83に、算出した値が表示される。

(3-4-2) 3点入力モード処理
選択用パネル130より3点モードボタン132が操作されると、ステップ608より立体モデル表面の一平面上の経路長を求める3点入力モードへ移行する。ここでは、まず3点の入力を受け付け、入力されていない場合は立体モデルの3点の入力を受け付け、3点モードにおける点の入力は、使用者がキャンパスに表示されている断面の輪郭線上の始点と終点と通過点をクリックするか、ビューワーに表示されている立体モデル表面の始点と終点と通過点をクリックすることにより行う。

【0051】以下に、この3点の入力について具体的に説明する。まず、キャンパスに表示されている断面の輪郭線から入力する場合は、使用者はキャンパスに設けられている断面の輪郭線上から始点と終点となる2点をクリックする。例えば、図23(a)に示すような断面400がキャンパスに設けられているとすると、使用者は断面の輪郭線上の点41、点42をクリックすることで始点と終点を入力する。始点と終点が入力されると、この2点を始点・終点とする経路は経路44aと経路44bの2つとなる。そこで、使用者は最後にこのいずれかの経路を選択すべく、通過点として点43をクリックする。なお、通過点の代わりに経路の存在する側のエリアをクリックする等の方法で経路を選択するようにしてもよい。

【0052】次に、ビューワーに表示されている立体モデルの3点を入力する場合は、使用者はビューワーに設けられている立体モデルの表面上を始点・終点・通過点の順で、3点をクリックする。例えば、図24(a)に示すよ

24 (d) 参照)。最後に、メジャーリング処理操作バネル70の距離情報部83に、ステップ614で算出した値が表示される。

(3-4-3) N点入力モード処理
N点入力モードでは立体モデル表面の一面上にない経路長を求める処理を行う。一面上にない経路の指定手段として、物体表面上をマウスドラッグすることも考えられるが、使用者にとって二次元画面上で立体モデル表面上の経路を正確にドラッグすることは困難であるので、ここでは立体モデル上の複数の点により経路を指定する。使用者が指定するのは始点、終点、複数の通過点よりなるN点である。

[0058] 立体モデル上のN点は通常は一面上に存在しない。そのため、当該N点を通る経路は無数に存在し特定することは困難である。そこで、ここでは、N点から3点ずつを抽出して、得られる3点ごとに前記3点入力モードで用いた方法により3点を通る経路長を算出して、この結果を用いてN点を通る経路長を近似的に求めることとしている。

[0059] 図26を用いて具体的に説明する。例えば、図26(a)のように立体モデル32上に4つの点P1、P2、P3、P4(P1が始点、P4が終点、P2、P3が通過点とする)が指定されたとする。ここで、点P1、P2、P3、P4の3点を用いて、当該3点を通る平面から経路を求めると図26(b)に示すような点P1、P2、P3を通る経路が得られる。ここで、この経路のP1、P2間の距離をLa12、P2、P3間の距離をLa23とする。

[0060] 次に、点P2、P3、P4の3点を用いて、当該3点を通る平面から経路を求めると図26(c)に示すような点P2、P3、P4を通る経路が得られる。ここで、この経路のP2、P3間の距離をLb23、P3、P4間の距離をLb34とする。なお、La12、La23、Lb23、Lb34の経路長は3点入力モードと同様の方法により求めることができる。

[0061] このようにした場合、点P2、P3を通る経路は、長さLa23の経路と、長さLb23の経路の2通りが存在することになる。そこで、ここでは求める経路が2つの経路の中間付近にあるものと考えて、La23、Lb23の平均を点P2、P3を通る経路の長さとする。即ち、4点P1、P2、P3、P4を通る経路の長さはLa12+(Lb23+La23)/2、これをさらに一般化して、立体モデル表面上にP1、P2、...、PNのN点の指定による経路長をPath(P1,P2,...,PN)を求めるとする。連続する3点Pi、Pi+1、Pi+2を始点、通過点、終点としてこれを通る平面から求められる経路長について、始点と通過点間の経路長をL(Pi,Pi+1,Pi+2,"former")と表し、通過点と終点間の経路長をL(Pi,Pi+1,Pi+2,"latter")と表すものとする。

[0063] 経路全体の始点P1と次の点P2との距離、及び、経路全体の終点の一つ手前の点PN-1と終点PNとの距離は一時的に定まる。これ以外の各点間Pi、Pi+1(i=2,3,...,N-2)の経路長はL(Pi,Pi+1,Pi+2,"former")とL(Pi+1,Pi+2,Pi+1,Pi+2,P3,"former")+L(PN-2,PN-1,PN,"latter")

$$+ \sum_{i=1}^{N-3} \frac{N-1}{2} \frac{L(P_{i+1}, P_{i+2}, P_{i+3}) \cdot L(P_{i+2}, P_{i+3}, P_{i+4})}{L(P_{i+1}, P_{i+2}, P_{i+3}) \cdot L(P_{i+2}, P_{i+3}, P_{i+4})}$$

[0065] と表すことができる。次に、実際にどのような操作によりN点を通る経路長を行うかを説明する。上記処理を行うN点入力モードへは、選択用バネル130よりN点モードボタン133が操作されることにより、図21のステップ608を介して移行する。最初にステップ618においてN点の入力がなされたか否かが判断される。ここで、N点の入力がされていない場合はステップ619へ移行しN点の入力を待つ。

[0066] 点の入力は使用者がビューワーにおいて立体モデル表面をクリックすることで、使用者が立体モデル表面上に1点目をクリックすると、図27(a)に示すような次の点の指定を促すポップアップメニュー150aが表示される。続いて、使用者が2点目、3点目を指定するとやはり、図27(a)に示すポップアップメニュー150aが表示される。

[0067] ところでN点入力モードにおいては4点以上ならば制約無く点を指定することができるので、使用者が最終的に全ての点を入力したことを指示する必要がある。そこで、4点目を入力した後は、点を入力するごとに図27(b)に示すような、N点入力の終了か、さらに点の入力を行うかを問うポップアップメニュー150bが表示される。ここで、使用者は所望のN点の入力が終了した場合はフィニッシュボタン151をクリックし、まだ、入力をお願いの場合はコンティニューボタン152をクリックすればよい。使用者がフィニッシュボタン151をクリックするとN点の入力が終了し、ビューワー座標系の各点の座標値が入力されることになる。

[0068] N点の入力受付が終わると、メインルーチンから再びステップ618に戻り、今度はステップ620へ移行する。ステップ620ではプロセッサ10は経路の分割を行う。具体的には、入力されたN点から連続する3点の組を1点ずつずらしながら抽出していく。続いて、ステップ621により抽出した3点の組について断面を計算し、ステップ622により経路長を計算する。この処理は3点を通る基準平面を求めた後に当該基準平面による切断面を導き、これから各点間の経路長を求める処理であって、3点入力モード処理で行った計算方法と同様の計算を行えば足りる。

[0069] 以上のステップ621、622の処理を全ての3点の組について行って後に、ステップ624で上

*3,"latter")との平均をとる。これにより、経路長Path(P1,P2,...,PN)は[0064]
[数1]

記式①により全経路長を計算する。それから、ステップ625でN点入力の経路を表示する。ここでは、表示される経路は各N点を直線で結んだ線分を表示するものとする。もともと、N点を滑らかに繋ぐ曲線を表示してこれを表示する等間々の表示が可能であるとはいえない。

[0070] 最後に、ステップ626においてプロセッサ10は、ステップ624で計算された経路長をメジャーリング処理操作バネル70の距離情報部83に表示してN点入力モード処理を終了する。以上のようにN点入力処理では、立体モデル表面上の任意の経路長を算出することができる。なお、ここでは、経路長が2算出された2点間の距離を2つ経路長を算出することにより求めたが、2つの経路の重なり部分として、それぞれ曲線の2点間での距離を重みとして線形補完して曲線を求める等により経路長を算出する等種々の方法が採用できる。また、ここでは、N点の内、連続する3点を1点ずつずらしながら組分けすることで3点を抽出したが、3点の内2点を他の組を共有するように組分けすれば足りるので、例えば点Pa、Pb、Pc、Pdに対して、(Pa、Pb、Pd)と(Pa、Pb、Pd)のような組分けをすることも可能である。

[0071] (3-5) 曲面モード処理
曲面モード処理では、使用者が指定する立体モデル表面の点や面につき微分値や曲率等の特徴量を求めこの特徴量を数値及び画像として表示する。また、特徴量を算出するに際して、立体モデルの凹凸のレベル、即ち立体モデルの凹凸の空間周波数を検出し調整することも合わせて行う。この曲面モード処理は図9のメジャーリング処理のフローチャートにおいてメジャーリング処理操作バネル70の曲面モード起動ボタン73がクリックされた場合にステップ35を介して移行する。図28に曲面モード処理のフローチャートを示す。以下、このフローチャートに従って曲面モード処理を空間周波数の調整処理と特徴量の算出処理に分けて説明する。

[0072] (3-5-1) 空間周波数の調整
空間周波数の調整は、測定対象を測定する時に生じる高周波ノイズを取り除いたり、サンプリング点間距離の不均一さを緩和したり、使用者が立体モデルから自動的に又は微視的に特徴量を得たい場合等を考慮して空間周波数

の調整を行うものである。なお、ここでいう空間周波数とは、単位長さ当たりの物理的な凹凸の間隔をいうものとし、空間周波数の調整とはどの程度の凹凸を対象とし、特微量を定めるかを指定することをいう。見方を換えると空間周波数の逆数は一つは凹凸の1周期の距離を意味する。1つの凸部または凹部を形成するものとしてみなす範囲を調整しているともいえる。

【0073】具体的に説明すると、空間周波数の指定、即ち距離の指定により、例えば図29(a)に示す空間周波数の逆で規定される距離dを直徑とする円筒Cで表される範囲と立体モデルXとの交線内の立体モデル表面部分S₂部分を、図29(b)に示すように平滑化した曲面S₂₀と見なして当該立体モデル表面S₂₀の特微量を算出するようになる。なお、実際の計算においては範囲と立体モデル表面との交線を求める必要はなく、交線上の点数があれば足りる。

【0074】図28のフローチャートにおいて、後述する曲面モード処理用パネルが未表示の場合はステップ702側へ移行し空間周波数の調整が行われる。調整は曲面モードが起動した直後は曲面モード処理用パネルが未表示であるのでステップ702へ進む。ステップ702では空間周波数の基準値が計算される。これは立体モデルを構成する点間の距離の平均値に於いて、特微量算出のための適当な空間周波数を定めるものである。空間周波数の基準値の算出は立体モデルの頂点群の分布密度を元に求める。図30に空間周波数の基準値を算出する処理を致すフローチャートを示す。空間周波数の基準値の算出は、まず、ステップ802で立体モデルの頂点の平均値 $\text{avr}(1/\text{Lside})$ を求める。これは、頂点を1周期とした空間周波数の平均値である。次にステップ803で、求めた平均値に $\text{avr}(1/\text{Lside})$ に補正值Vfragを乗算することで空間周波数の基準値を算出する。なお、Vfragは実験又は経験的に得られる値であって、ここではVfrag=0.25を用いる。なお、空間周波数の基準値は頂点群の分布密度から求める場合に限りならず、例えば、立体モデル表面の空間周波数の内、最も粗域が多いものを選択する等の方法により定めることもできる。

【0075】空間周波数の基準値が求まるとステップ703で当該値が所定記憶エリアに記憶され、曲面モード処理用パネル140が表示される。ステップ704で表示されるこの曲面モード処理用パネル140を図31に示す。曲面モード処理用パネル140は、スライダ41、空間周波数表示部142、特微量選択用ボタン44、145、146、微分方向選択ボタン147、計算値表示部148、ポイントモード起動ボタン149、エリアモード起動ボタン150、マッピングモード起動ボタン151、終了ボタン152により構成される。【0076】スライダ41は、使用者により空間周波数を調整するためのもので、スライダ片を左右にマウス

各ZL座標を用いて、各頂点から測定点間での距離の逆数を重みとして補完して求める。具体的には、頂点P_iのZL座標をZL(P_i)、頂点Pから測定点までの距離をL(P_i)とすると次式で表すことができる。

【0081】

【数2】

$$f(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^n (ZL(P_i) / L(P_i))}{\sum_{i=1}^n (1 / L(P_i))}$$

【0082】なお、f(x, y)の値はB-splineや法線ブレンドニングなどの手法による羽ラメトリックな曲線や曲面で近似して求めてもよい。今、測定点を(x, y, 0), f(x, y, 0)とし、空間周波数から得られる区間長をdとすると、XL軸方向、YL軸方向の微分値はそれぞれ次式で表せる。

【0083】

【数3】

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{f(x_0 + d/2, y_0) - f(x_0 - d/2, y_0)}{d}$$

②

【0084】

【数4】

$$\frac{\partial f}{\partial y} = \frac{f(x_0, y_0 + d/2) - f(x_0, y_0 - d/2)}{d}$$

③

【0085】空間周波数により特定される区間dとf(x, y, 0), f(x, y, d/2, y, 0), f(x, y, d/2, y, 0)の間隔を図32に示す。図32(a)はdの値を表し、図3

d1(高い空間周波数値)に設定した場合を示し、図32(b)はdの値を広い値d2(低い空間周波数値)に設定した場合を示す。なお、微分の計算方法はXL軸方向、YL軸方向と同じであるので、ここでXL軸方向に

$$\kappa_g = \left(\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right) \left(\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \right) - \left(\frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} \right)^2$$

⑤

【0090】いま、測定点のXL座標、YL座標を、XL

=x, YL=y0とすると、上式における $\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} / \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$

x', $\frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} / \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$ の値は、空間

周波数から得られる区間長d(空間周波数の逆数)を用*

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = \frac{f(x_0 + d, y_0) + f(x_0 - d, y_0) - 2f(x_0, y_0)}{d^2}$$

⑥

【0092】

※ 【数8】

$$\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = \frac{f(x_0, y_0 + d) + f(x_0, y_0 - d) - 2f(x_0, y_0)}{d^2}$$

⑦

【0093】

【数9】

ついで説明する。上記計算式は、測定点(x, y, 0, f(x, y, 0))を中心として距離dで規定される範囲で定まる点(x, y, 0, f(x, y, 0)), (x, y, d/2, y, 0, f(x, y, d/2, y, 0))のみで算出されるので、実質的に図で示される画面上に表れる曲線をC1もしくはC2のように平滑化したものと見なし特微量を算出していることになる。即ち、区間dを小さくすればより微細な凹凸の範囲で特微量を算出でき、区間dを大きくすればより巨視的な凹凸の範囲で特微量を算出することができる。なお、ここでは曲線(曲面)を平滑化したものと同じとして計算を行うが、区間dにおける曲線(曲面)を実際に平滑化処理したものと通常の微分処理をするようにしてもほぼ同様の結果を得ることができ

る。これは次の曲線の計算においても同様である。

【0086】(3-5-2b) 曲線の計算

曲率は測定点の法線方向に依存するので、測定点の法線により定まるローカルなXYLZ座標系を用いて計算を行う。具体的には図33に示すように立体モデルの測定点を頂点とし、当該測定点における法線と逆方向にZ軸をもつ座標系を用いる。なお、XL軸、YL軸はその都度適当に設定する。また、この座標系においても立体モデル表面の測定点近傍の点の座標は(x, y, f(x, y))と表せ、f(x, y)も上記方法で得ることができ

【0087】ここで算出する平均曲率κ_m、ガウス曲率κ_gは次式で表すことができる。

【0088】

【数5】

$$\kappa_m = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$$

④

【0089】

【数6】

設定した場合を示す。なお、微分の計算方法はXL軸方向、YL軸方向と同じであるので、ここでXL軸方向に

$$\kappa_g = \left(\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right) \left(\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \right) - \left(\frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} \right)^2$$

⑤

【0090】いま、測定点のXL座標、YL座標を、XL

=x, YL=y0とすると、上式における $\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} / \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$

x', $\frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} / \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$ の値は、空間

周波数から得られる区間長d(空間周波数の逆数)を用*

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = \frac{f(x_0 + d, y_0) + f(x_0 - d, y_0) - 2f(x_0, y_0)}{d^2}$$

⑥

【0092】

※ 【数8】

$$\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = \frac{f(x_0, y_0 + d) + f(x_0, y_0 - d) - 2f(x_0, y_0)}{d^2}$$

⑦

【0093】

【数9】

$$\frac{\partial z}{\partial x \partial y} = \frac{[x_0 d/2, y_0 d/2] + [x_0 d/2, y_0 d/2] - [x_0 d/2, y_0 d/2] + [x_0 d/2, y_0 d/2]}{d^2}$$

(8)

【0094】以上の式を用いることで、平均曲率、ガウス曲率を立体モデルの頂点データから求めることができる。なお、これらの式においても、例えばx軸方向には、図32に示すのと同じ区間dとf(x0, y0)、f(x0-d/2, y0)、f(x0+d/2, y0)の関係を待ち、両点間に挟まれる立体モデル表面を曲線C1(C2)に平滑化したものと見なして特徴量を算出しているものということができる。但し、曲率の算出においてはローカルな座標を用いるのでx0=0、y0=0である。

【0095】(3-5-3) ポイントモード処理
図31に示す曲面モード処理用パネル140のポイントモード起動ボタン149が操作されると図28の曲面モードのフローチャートにおいて、ステップ705を介してポイントモード処理へ移行する。ポイントモードでは、まず、ステップ708で使用者によるビューワで立体モデル表面の測定点の指定を得付。測定点が指定されるとステップ707で現在の空間座標値、即ち、曲面モード処理用パネル140の空間座標値表示部142に表示されている空間座標値の値を取り込む。

【0096】次に、ステップ710で曲面の特徴量が算出される。曲面の特徴量を計算する処理を図34のフローチャートに示す。特徴量の計算は曲面モード処理用パネル140の特徴量選択ボタン147によって選択される微分、平均曲率、ガウス曲率の別に応じて処理を変え、まず、プロセッサ10は選択されている特徴量が曲率か否かを判断する。ここで、曲率が選択されていなければ微分が選択されているので、ステップ909へ移行し、曲面平面の座標系を特徴量を求める座標系として設定する。そしてステップ910で、曲面モード処理用パネル140の微分方向選択ボタン147で設定されている方向に従って、式(8)を用いて測定点の微分値を計算する。

【0097】一方、ステップ901で曲率が選択されている場合は、まず、ステップ902で測定点における法線ベクトルを求め、ステップ903で求めた法線ベクトルから図33に示すようなX1、Y1、Z1座標系を設定する。次に、ステップ906で求める曲率は平均曲率か否かが判断される。ここで平均曲率である場合は、ステップ907において式(9)、(10)、(11)を用いて、測定点における平均曲率を求め、一方、平均曲率でない場合はガウス曲率が選択されているので、ステップ908において式(12)、(13)、(14)を用いて、測定点におけるガウス曲率を求め、

【0098】上記のようにして曲面の特徴量計算処理が終了すると、ステップ711で曲面モード処理用パネル14

0の計算値表示部148に算出された特徴量を表示してポイントモード処理を終了する。

(3-5-4) エリアモード処理

エリアモード処理では基準平面へ立体モデルを投影した場合に投影される各点の立体モデルにおける特徴量を画像として表示されるものである。具体的には、図35(a)に示すようにキャンパスの画像の位置に対応する基準平面Hの座標点p、p、pからZ軸方向へ立体モデルXに投影して得られる立体モデル上の各点(図中の二点線線より左側の面上の点)に対し特徴量を算出し、当該特徴量に応じてキャンパスの対応する画像の座標を定めることにより、特徴量を画像として図35(b)のようにキャンパスに表示するものである。このモードに移行する際には使用者は基準平面を立体モデルの所望の方向が投影できるように姿勢を調整し移動させておく必要がある。

【0099】図31に示す曲面モード処理用パネル140のエリアモード起動ボタン150が操作されると図28の曲面モードのフローチャートにおいて、ステップ712を介してエリアモード処理へ移行する。エリアモードでは、まず、ステップ713で現在の空間座標値、即ち、曲面モード処理用パネル140の空間座標値表示部142に表示されている空間座標値の値を取り込む。それから、ステップ714で基準平面の姿勢を取り込む。基準平面の姿勢を取り込むと、ステップ715でこの基準平面のキャンパスの画像位置に対応する座標点からZ軸方向へ立体モデルへ投影することで立体モデル上の点の座標を算出する。なお、ここではキャンパスには480×480の画像を配列するように構成してあるものと

する。
【0100】投影点が抽出されると、ステップ716で抽出された点の1つずつについて曲面の特徴量計算処理が行われる。この処理は、ポイント処理モードにおいて説明した図34のフローチャートと同じ処理である。全ての点に対して特徴量の算出が完了すると、ステップ717で各点の特徴量に応じて対応する画像の濃淡を変えて2次元直交平面X上即ちキャンパス平面上にマッピングする。具体的にはキャンパス平面上の各画像の面積データとして、対応する点における特徴量の絶対値が大きいほど小さな輝度値を、特徴量の絶対値が小さいほど大きな輝度値を設定し、さらに、特徴量の値が正の場合は青色に負の場合は赤色にというように正負に応じた色を与えるRGB値を設定する。マッピングの計算が終わるとステップ720でキャンパスにマッピングしたデータを表

示してエリアモードを終了する。

【0101】なお、ここでは、キャンパスの画像位置に対応する基準平面の座標点から立体モデルへ投影した点を求め、当該点の特徴量により表される濃淡を対応する画像に表すようにした。だが、これは立体モデルの各頂点を基準平面に投影して各頂点の座標平面における対応点を求め、各頂点の特徴量から各頂点の濃淡を算出し、当該濃淡を用いて各点に囲まれる部分の濃淡を補完して求め表示するようにすることもできる。

【0102】(3-5-5) マッピングモード処理
マッピングモード処理では立体モデル表面上の各点における特徴量を算出し、当該特徴量に応じた画像を立体モデル表面上にテクスチャマッピング処理を行って、当該画像を立体モデル表面に張り付けられるものである。テクスチャマッピング処理は、図36に示すように、テクスチャ空間に設定されるテクスチャ形成面Aのような立体モデルXに張り付けるテクスチャパターンを形成し、テクスチャ空間座標で表されるテクスチャ形成面とテクスチャを張り付ける立体モデル空間の座標(ビューワ座標)で表される立体モデルX表面との対応をマッピングデータを設定し、これを元に、テクスチャ空間から立体モデル空間へ座標変換を行って2のようにテクスチャを立体モデル表面に形成するものである。

【0103】ここでは、テクスチャ空間座標として座標系を、テクスチャ形成面として形成面を用いる。テクスチャ形成面として形成面を用いるのは、ここでは3次元面上の全体にテクスチャマッピングをするために2次元直交座標系における平面は適切でないからである。もつとも、適切なマッピングを行うならば2次元直交座標系における平面もテクスチャ形成面とすることができ、その他、円周上のテクスチャ形成面等種々のテクスチャ形成面を用いることができる。

【0104】座標空間の形成面と立体モデルとのマッピングデータは次のようにして与えられる。今、図37に示すようにビューワ座標系の立体モデルXに対して、テクスチャ形成面である形成面Sが取り囲んでいるものとすると、この形成面はテクスチャ空間において中心を原点、半径をrとbとしている。また、ビューワ座標系の原点と座標系の原点は一致するものとし、当該原点は立体モデル内部にあるものとすると、もし、原点が立体モデル外にある場合は、立体モデルを平行移動させて、原点が立体モデル内に位置するようにする。

【0105】マッピングを行うために、まず、座標系を一致させる必要がある。そこで、まず、ビューワ座標系(x, y, z)を、座標系(r, θ, φ)に変換する。この変換は次式で与えられる。

【0106】

【数10】

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

$$\begin{cases} \cos^{-1}(z/r) & (y \geq 0) \\ 2\pi - \cos^{-1}(z/r) & (y < 0) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \cos^{-1}(x/r \sin \theta) & (z \geq 0) \\ 2\pi - \cos^{-1}(x/r \sin \theta) & (z < 0) \end{cases}$$

10

【0107】この変換により立体モデルデータの頂点の座標を座標系に変換する。これからマッピングデータは次のように与えられる。即ち、図37に示すように原点Oから立体モデルX上の点Paを通る直線が形成面Sと交わる点Pbを、当該立体モデル上の点Paと対応する点としてマッピングデータを与える。図37に示すように、PaとPbはrの値のみ異なり、θ、φの値は一致する。つまり、立体モデルデータの頂点を座標系に変換したときに角度成分θ、φがそのまま形成面の対応点のマッピングデータになる。なお、rは一定であるので結局は定める必要はなくなる。

【0108】マッピングモード処理の具体的な動作を以下に説明する。図31に示す曲面モード処理用パネル140のマッピングモード起動ボタン151が操作されると図28の曲面モードのフローチャートにおいて、ステップ721を介してマッピングモード処理へ移行する。空間座標値を取り込む、まず、ステップ722で現在のマッピングデータも、それから、立体モデルの頂点の1つずつについて曲面の特徴量計算処理が行われる。この処理も、ポイント処理モードにおいて説明した図34のフローチャートと同じ処理である。全ての処理について特徴量の算出が完了すると、ステップ728でテクスチャマッピング処理が行われる。

【0109】図38にテクスチャマッピング処理を設すフローチャートを示す。テクスチャマッピング処理では、まず、前述したように立体モデルの頂点のビューワ座標(必要に応じて平行移動しておく)を座標系に変換する。そして、座標系に変換後の各頂点のθ、φの2成分で表される2次元座標位置に当該頂点の特徴量に応じた当該頂点の輝度値及びRGBデータを設定する。なお、輝度値及びRGB値の設定の仕方は、エリアモード処理の場合と同様である。また、ステップ1004でビューワ座標系と座標系の角度成分間の対応をマッピングデータとして保存しておく。ステップ1002からステップ1004の処理を全ての頂点について行くと、ステップ1008で頂点以外の面上の画像パターンを頂点に設定された画像パターンを用いて補完して求める。具体的には、ポリゴンメッシュを構成する頂点に囲まれた面上の50点について、各頂点の濃度を距離に応じて重み付けをし

て、平均をとることにより算出する。これにより完全なテクスチャパターンがテクスチャ形成面にデータとして形成されることになる。

【0110】以上の処理が終わると、マッピングデータに基づいてデータとして得られているテクスチャパターンを立体モデル表面に張り付けビューワークに表示して処理を終了する。なお、ここでは立体モデルの各頂点とテクスチャ形成面とをマッピングし、各頂点の座標値から得られる座標から各頂点に対応する点に照準する面のテクスチャパターンを補完することで行った。だが、これはテクスチャ形成面の十分に細かく均等に選んだ座標と立体モデル表面とをマッピングして対応する立体モデル上の点を求め、求められた点における特徴量を算出して、各点に対応するテクスチャ形成面上の点に当該特徴量を応じた変換を形成することで行った。以上のような処理により、曲面モードでは立体モデル表面の特徴量を空間周波数を調整しながら、数値として算出し、さらに画像として視覚的に表示することができる。

【0111】なお、ここでは図29に示されるように空間周波数により得られるdの値に規定される円筒上の断面と立体モデル表面との交線に照準される立体モデル表面を平均化した曲面と見なし特徴量を算出したが、この範囲は円筒ではなくdを半径とする球とすることもできる。この場合の図32のXYZ平面に対応する図を図39に示す。

【0112】図39では、測定点を中心として直径をdとした球(円)と立体モデルとの交点からf(xa, y0)、f(xb, y0)を求められている。そして、これを用いて測定点の特徴量を求めるようにすることができる。このようにすると、頂点間の距離のばらつきに係わりなく、測定点から立体モデル表面の均等な距離の範囲内の特徴量を算出するためのデータとして用いることができる。

【0113】また、エリアモード処理およびマッピング処理においては強度を変換することで特徴量を視覚的に表示したが、これは色を変換したりハッチングやトーンのパターンを変換したりすることで視覚的に表示するようにすることができる。さらに、形状より得られる特徴量として、ここでは微分値と曲率を用いたが、これは他の特徴量を用いてもよく、例えば、次式で表されるラブラシアデルを算出するようにしてもよい。

【0114】

【数11】

$$\Delta = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial z^2}$$

【0115】ラブラシアンは3次元におけるエッジの強さを表す。この他にも、平滑化した曲面を表す多項式の特定の係数や、曲率等の平均などを特徴量としてもよ

い。

(3-6) 修復モード処理

修復モード処理では、立体モデルの欠損部分を自動的に修復する。修復モード処理の基本的な考え方を図40を用いて説明する。例えば、図40(a)に示すように、立体モデルデータXをある軸方向を法線とする複数の平面で切断する。すると、前述した切断モード時と同様の計算により複数の断面データ(輪郭)を得ることができ、このように得た断面データを前記軸方向に3次元空間に並べて、断面間にポリゴンが発生させると立体モデルデータXと得られた立体モデルデータX*は切断平面の間隔が十分に狭ければほぼ同じものと見なすことができる。

【0116】同じように図40(b)に示すような欠損のある立体モデルデータXをある軸方向を法線とする複数の平面で切断すると、やはり複数の断面データを得ることができる。この際、欠損部分は、切断モードにおける図15(b)の線分のつなぎ合わせ処理のフローチャートにおいて線分がつなぎ合わせられないことになり閉じてない断面と判断することが可能である。そして、このように閉じてない断面の閉じた部分は輪郭を補完すること、閉じた断面に修復することができる。その後、やはり断面データを3次元空間に並べて断面間にポリゴンが発生させると立体モデルX*が得られる。切断平面の間隔を十分に小さくすれば、この立体モデルX*はほぼ元の立体モデルXと同じとしてもかまわず欠損部分が修復されていることになる。

【0117】なお、この手法で重要なのは切断面の法線方向の取り方であり、欠損部分を適切にスライズできるような方向に設定することが重要である。そこで、ここでは、基準平面のZ軸方向を切断面の法線方向とし、使用者が適切な方向を設定できるようにしてある。図9のメジャーリング処理のフローチャートにおいて修復モード移動ボタン74が操作されるとステップ43の切断モード処理へ移行する。図41に修復モード処理の動作を示すフローチャートを示す。修復モード処理では、まず、ステップで使用者が設定した基準平面の姿勢の取り込みを行う。次に立体モデルのZ軸方向の高さを求め、この高さから切断平面の間隔を求める。ここでは、得られた高さの1/1000としている。

【0118】次に、S1105で1の刻み幅で立つ立体モデルを平面で切断していき断面データを求めていく。断面データを求めた後は断面モード処理で説明したのと同様である。そして、ステップ1107で求められた断面データが欠損があるかどうか、即ち閉じてない断面であるかどうかを判断し、欠損がある場合はステップ1109で断面データを修復する。この修復処理については後に詳述する。

【0119】立体モデルのZ軸方向の高さ分の切断面の全てについて以上の処理が終わると、ステップ113に

おいて修復した断面データを含めて断面データをつなぎ合わせて立体モデルデータを復元して処理を終了する。

(3-6-1) 断面データの修復処理

次に、ステップ1109における断面データの修復処理について説明する。ここでは断面データの欠損のある部分近傍の形状のみから断面データの修復を行う。つまり、例えば図42(a)(b)に示す断面データにおいて欠損部分は立体モデルにおいて同じ欠損部分の一部であり、欠損部分から離れた部分において大きく形状が異なっている。また、欠損部分近傍のみを考慮すると両者はかなり近い修復結果もかなり異なったものとなってしまう。一方、欠損部分近傍のみを考慮すると両者はかなり近い修復結果を得ることができる。

【0120】図43に断面データ修復処理を表すフローチャートを示す。また、欠損のある断面データの例として図44(a)に示すような断面データを修復するものとする。図44(a)の断面データは、2本の線分(P0,0, P0,1, ..., P0,N)と(P1,0, P1,1, ..., P1,N)より構成されており、点P0,0, P1,0間および点P0,N, P1,N間が欠損部分である。まず、ステップ1202で端点が最も近い点の組、即ち、欠損部分を構成する端点の組を求める。図44(a)の例では、(P0,0, P1,0)の組と、(P0,N, P1,N)の組が求め*

$$C(i) = \{P^3, P^2, P^1, P^0\} [A] [G]$$

ただし

$$A = \begin{pmatrix} \frac{-(1-\alpha)^2}{\alpha} & \frac{(1-\alpha)+\alpha\beta}{\alpha} & \frac{-(1-\alpha)^2\alpha\beta}{\alpha} & \frac{\beta^2}{1-\beta} \\ \frac{2(1-\alpha)^2}{\alpha} & \frac{2(1-\alpha)-\alpha\beta}{\alpha} & \frac{2(1-\alpha)\beta(1-2\alpha)}{\alpha} & \frac{-\beta^2}{1-\beta} \\ \frac{-(1-\alpha)^2}{\alpha} & \frac{-(1-2\alpha)}{\alpha} & \frac{\alpha}{\alpha} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$[G]^T = [P0, P1, P2, P3]$$

$$\alpha = \frac{|[P1]-[P0]|}{|[P2]-[P1]| + |[P1]-[P0]|}$$

$$\beta = \frac{|[P2]-[P1]|}{|[P3]-[P2]| + |[P2]-[P1]|}$$

【0124】これにより、P1, P2間を滑らかに繋ぐ曲線が図44(b)のように得られることになる。その後、ステップ1206で、全ての、欠損部分の処理が完了したか否かが判断され、全ての欠損部分の処理が完了していればステップ1207でステップ1205で求めた曲線上に図44(b)に示すように適当な数点を復元する。それから、ステップ1208で復元した点群を含めて断面の輪郭を再構成することで断面データを修復す

*られる。ここで、P0,0, P1,0をP1, P2, P0,N, P1,NをP5, P6と表しておく。

【0121】次に、ステップ1203で線分の長さを算出し、ステップ1204でこの長さを基準に修復のための基準長さを求める。ここでは、端点から線分の長さの1/5の長さを修復のための基準長さとする。そして、欠損部分を構成する端点からこの基準長さだけ離れた距離にある点を代点とし、この代点を適当な補完処理により求める。図44(a)では、代点として例えば、P0, P3, P4, P6が求められる。

【0122】それから、ステップ1205で、ステップ1202で求めた端点の組と、ステップ1204で求めた各端点から得られる代点を滑らかに通過する曲線を求める。ここでは曲線を求める方法として一般ブレンディング法を用いる。具体的には、例えば、図44(a)の端点の組P1, P2と、この端点から得られる代点P0, P3を通る滑らかな曲線は次のようにして求めることができる。即ち、点P0, P1, P2, P3が位置ベクトルとして与えられたとして、4点を通る曲線上の座標ベクトルC(t) (0 ≤ t ≤ 1) は一般ブレンディング法により次式で与えられる。

【0123】

【数12】

る。これにより、図44(a)の断面データは図44(c)のように修復されることになる。このように、修復モード処理では、立体モデルデータに欠損部分があったとしても極めて容易に欠損部分を修復することができる。なお、ここでは、切断平面の法線方向を基準平面によりマニキュアルで指定するようにしたが、これは立体モデルのシンニング等の処理により自動的に求めるようにしてもよい。また、ここでは、各切断面は同じ法線方向を持つ

【図8】実施の形態に係る3次元形状データ処理装置のメインのフローチャートである。

【図9】メジャーリング処理を示すフローチャートである。

【図10】メジャーリング処理操作パネルを示す図である。

【図11】基準物体表示処理を示すフローチャートである。

【図12】基準物体移動・回転処理を示すフローチャートである。

【図13】回転・移動入力パネルを示す図である。

【図14】切断モード処理を示すフローチャートである。

【図15】(a)は断面データ計算処理を示すフローチャートであり、(b)は線分のつなぎ合わせ処理を示すフローチャートである。

【図16】交点同士の連結処理を示すフローチャートである。

【図17】線分別の連結処理を示すフローチャートである。

【図18】(a)は基準平面がポリゴンメッシュを切断する状態の例を示す図であり、(b)は基準平面とポリゴンメッシュとの交点の例を示す図である。

【図19】(a)は一つのポリゴンメッシュで形成される交点の例を示す図であり、(b)は(a)で示す交点同士を結んだ状態を示す図であり、(c)は(b)で示す線分を連結した状態を示す図である。

【図20】(a)は切断面の輪郭長の計算方法を説明するための図であり、(b)は切断面の面積の計算方法を説明するための図である。

【図21】距離モード処理を示すフローチャートである。

【図22】選択用パネルを示す図である。

【図23】(a)はキャンパスに断面が表示されている状態を示す図であり、(b)は(a)の断面の輪郭から始点と終点を選択した状態を示す図であり、(c)は(b)の始点と終点に対する通過点を選択した状態を示す図である。

【図24】(a)はビューワーに立体モデルが表示されている状態を示す図であり、(b)は(a)に表示されている立体モデルから始点、終点、通過点を指定した状態を示す図であり、(c)は指定した3点と通る基準平面が表示された状態を示す図であり、(d)は(c)の基準平面で規定されるキャンパスの画像を示す図である。

【図25】経路長測定処理を示すフローチャートである。

【図26】(a)はビューワー上の立体モデルから4点を指定した状態を示す図であり、(b)は(a)で指定した4点の内の3点から得られる経路を示す図であり、

(c)は(a)で指定した4点の内の(b)とは異なる3点から得られる経路を示す図である。

【図27】(a)はN点モード時に一つのポップアップメニューを示す図であり、(b)はN点モード時に他の他のポップアップメニューの一つを示す図である。

【図28】曲面モード処理を示すフローチャートである。

【図29】(a)は空間周波数で規定される範囲に含まれる曲面を示す図であり、(b)は(a)で示す曲面を平滑化した状態を示す図である。

【図30】空間周波数の基準値計算処理を示すフローチャートである。

【図31】曲面モード処理用パネルを示す図である。

【図32】(a)は高い空間周波数に設定した場合の特徴量の計算に用いる変数を示す図であり、(b)は低い空間周波数に設定した場合の特徴量の係数に用いる変数をしめす図である。

【図33】曲率の法線により規定される座標系を示す図である。

【図34】曲面の特徴量の計算処理を示すフローチャートである。

【図35】(a)は基準平面の面積から立体モデルへの投影を示す図であり、(b)は立体モデルの基準平面から投影された領域をキャンパス上に示した図である。

【図36】テクスチャマッピング処理を説明するための図である。

【図37】直交座標系上の立体モデル表面と極座標系の球面とのマッピングを説明するための図である。

【図38】テクスチャマッピング処理を示すフローチャートである。

(c)は(a)で指定した4点の内の(b)とは異なる3点から得られる経路を示す図である。

【図27】(a)はN点モード時に一つのポップアップメニューを示す図であり、(b)はN点モード時に他の他のポップアップメニューの一つを示す図である。

【図28】曲面モード処理を示すフローチャートである。

【図29】(a)は空間周波数で規定される範囲に含まれる曲面を示す図であり、(b)は(a)で示す曲面を平滑化した状態を示す図である。

【図30】空間周波数の基準値計算処理を示すフローチャートである。

【図31】曲面モード処理用パネルを示す図である。

【図32】(a)は高い空間周波数に設定した場合の特徴量の計算に用いる変数を示す図であり、(b)は低い空間周波数に設定した場合の特徴量の係数に用いる変数をしめす図である。

【図33】曲率の法線により規定される座標系を示す図である。

【図34】曲面の特徴量の計算処理を示すフローチャートである。

【図35】(a)は基準平面の面積から立体モデルへの投影を示す図であり、(b)は立体モデルの基準平面から投影された領域をキャンパス上に示した図である。

【図36】テクスチャマッピング処理を説明するための図である。

【図37】直交座標系上の立体モデル表面と極座標系の球面とのマッピングを説明するための図である。

【図38】テクスチャマッピング処理を示すフローチャートである。

【図39】空間周波数から得られる領域の領域を球面内とした場合の特徴量を算出するための変数を示す図である。

【図40】(a)は欠損の無い立体モデルを断面データに分解した後に再び立体モデルを再構築する手順を示す図であり、(b)は欠損のある立体モデルを断面データに分解修復した後に立体モデルを再構築する手順を示す図である。

【図41】修復モード処理を示すフローチャートである。

【図42】(a)は欠損のある断面データの一例を示す図であり、(b)は(a)と同じ欠損を持ち、かつ、輪郭の形状が大きく異なる断面データの一例を示す図である。

【図43】断面データ修復処理を示すフローチャートである。

【図44】(a)は欠損のある断面データの一例を示す図であり、(b)は欠損部分部分を曲線で補完した状態を示す図であり、(c)は(a)の断面データを修復した状態を示す図である。

【図45】(a)は欠損のある断面データの一例を示す図であり、(b)は欠損部分部分を曲線で補完した状態を示す図であり、(c)は(a)の断面データを修復した状態を示す図である。

【図46】(a)は欠損のある断面データの一例を示す図であり、(b)は欠損部分部分を曲線で補完した状態を示す図であり、(c)は(a)の断面データを修復した状態を示す図である。

【図47】(a)は欠損のある断面データの一例を示す図であり、(b)は欠損部分部分を曲線で補完した状態を示す図であり、(c)は(a)の断面データを修復した状態を示す図である。

【図48】(a)は欠損のある断面データの一例を示す図であり、(b)は欠損部分部分を曲線で補完した状態を示す図であり、(c)は(a)の断面データを修復した状態を示す図である。

【図49】(a)は欠損のある断面データの一例を示す図であり、(b)は欠損部分部分を曲線で補完した状態を示す図であり、(c)は(a)の断面データを修復した状態を示す図である。

【図50】(a)は欠損のある断面データの一例を示す図であり、(b)は欠損部分部分を曲線で補完した状態を示す図であり、(c)は(a)の断面データを修復した状態を示す図である。

【図51】(a)は欠損のある断面データの一例を示す図であり、(b)は欠損部分部分を曲線で補完した状態を示す図であり、(c)は(a)の断面データを修復した状態を示す図である。

【図52】(a)は欠損のある断面データの一例を示す図であり、(b)は欠損部分部分を曲線で補完した状態を示す図であり、(c)は(a)の断面データを修復した状態を示す図である。

【図53】(a)は欠損のある断面データの一例を示す図であり、(b)は欠損部分部分を曲線で補完した状態を示す図であり、(c)は(a)の断面データを修復した状態を示す図である。

【図54】(a)は欠損のある断面データの一例を示す図であり、(b)は欠損部分部分を曲線で補完した状態を示す図であり、(c)は(a)の断面データを修復した状態を示す図である。

【図55】(a)は欠損のある断面データの一例を示す図であり、(b)は欠損部分部分を曲線で補完した状態を示す図であり、(c)は(a)の断面データを修復した状態を示す図である。

【図56】(a)は欠損のある断面データの一例を示す図であり、(b)は欠損部分部分を曲線で補完した状態を示す図であり、(c)は(a)の断面データを修復した状態を示す図である。

【図57】(a)は欠損のある断面データの一例を示す図であり、(b)は欠損部分部分を曲線で補完した状態を示す図であり、(c)は(a)の断面データを修復した状態を示す図である。

【図58】(a)は欠損のある断面データの一例を示す図であり、(b)は欠損部分部分を曲線で補完した状態を示す図であり、(c)は(a)の断面データを修復した状態を示す図である。

【図59】(a)は欠損のある断面データの一例を示す図であり、(b)は欠損部分部分を曲線で補完した状態を示す図であり、(c)は(a)の断面データを修復した状態を示す図である。

【図60】(a)は欠損のある断面データの一例を示す図であり、(b)は欠損部分部分を曲線で補完した状態を示す図であり、(c)は(a)の断面データを修復した状態を示す図である。

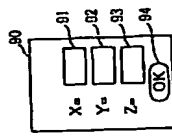
【図61】(a)は欠損のある断面データの一例を示す図であり、(b)は欠損部分部分を曲線で補完した状態を示す図であり、(c)は(a)の断面データを修復した状態を示す図である。

【図62】(a)は欠損のある断面データの一例を示す図であり、(b)は欠損部分部分を曲線で補完した状態を示す図であり、(c)は(a)の断面データを修復した状態を示す図である。

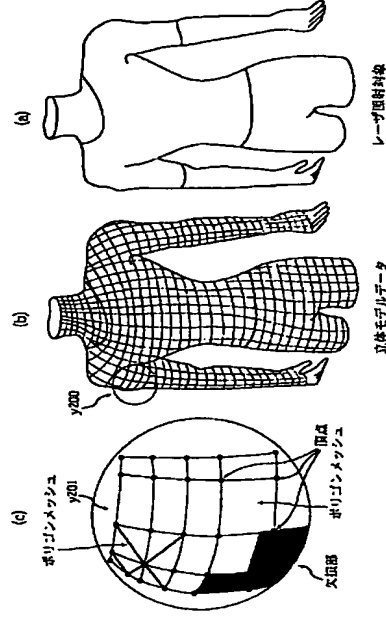
【図63】(a)は欠損のある断面データの一例を示す図であり、(b)は欠損部分部分を曲線で補完した状態を示す図であり、(c)は(a)の断面データを修復した状態を示す図である。

【図64】(a)は欠損のある断面データの一例を示す図であり、(b)は欠損部分部分を曲線で補完した状態を示す図であり、(c)は(a)の断面データを修復した状態を示す図である。

【図13】

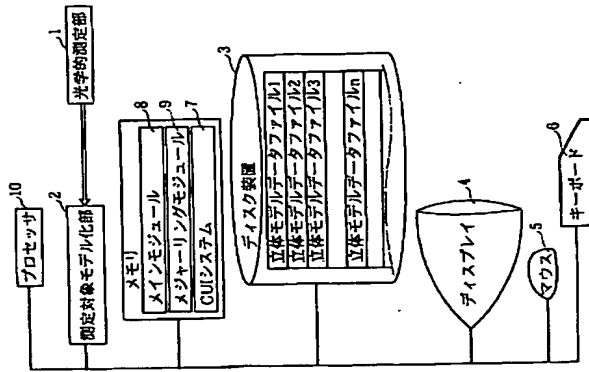


【図2】

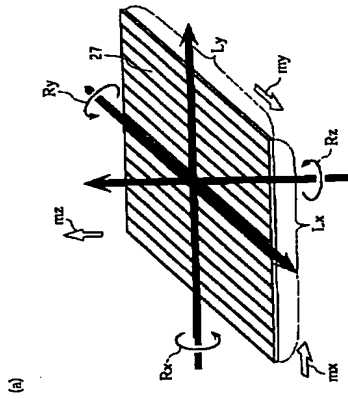


レイアウト図

立体モデルデータ



【96】



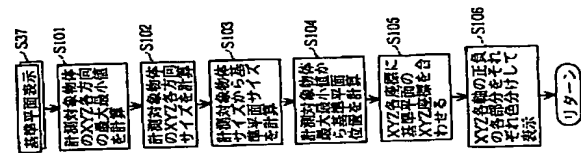
(g)

基準平面データ	
法線ベクトル(p,q,r)	
通過座標(Xa,Ya,Za)	
縦幅Lx	横幅Ly

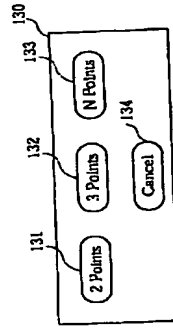
【图3】

[illegible]

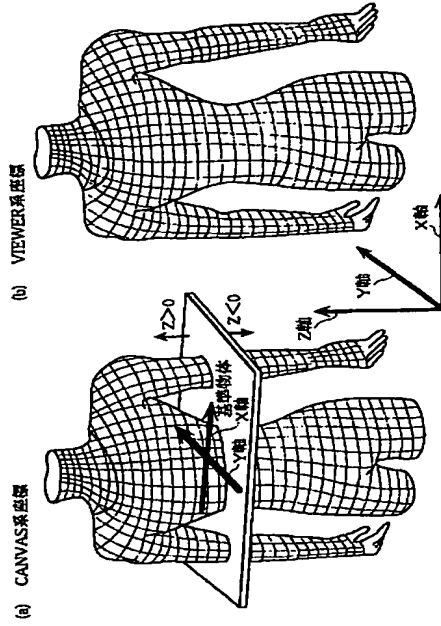
【图 11】



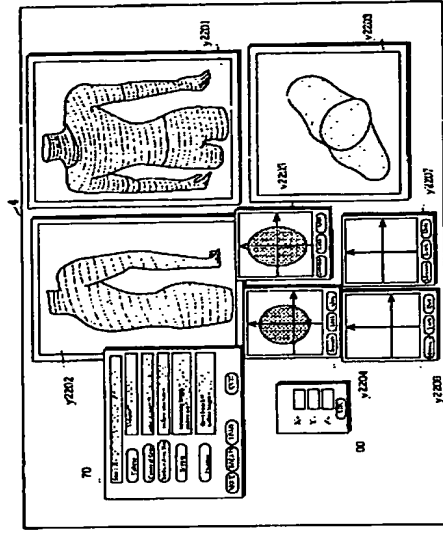
【图22】



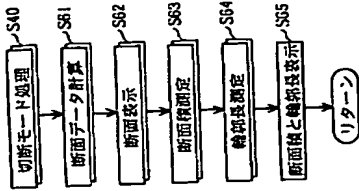
【5】



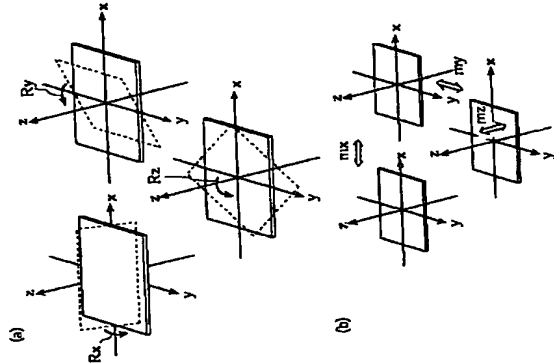
【図4】



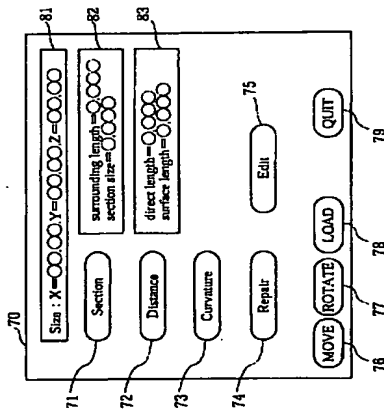
【图14】



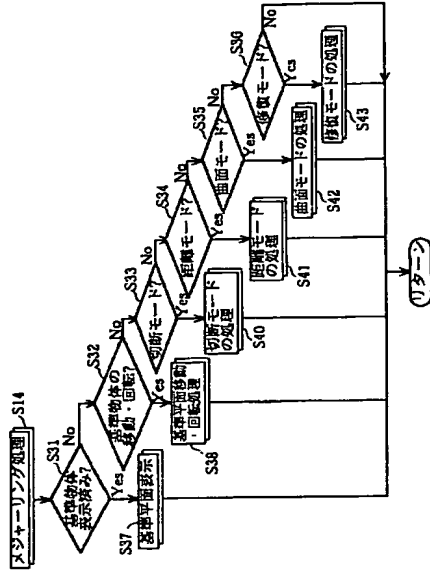
【図7】



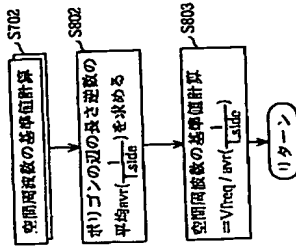
【図10】



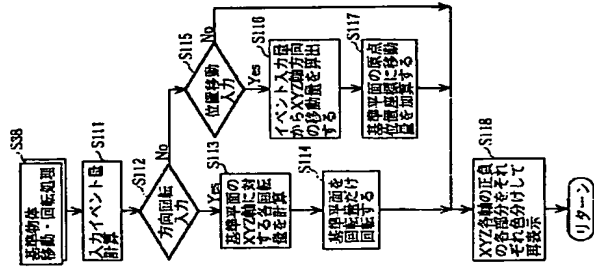
【図9】



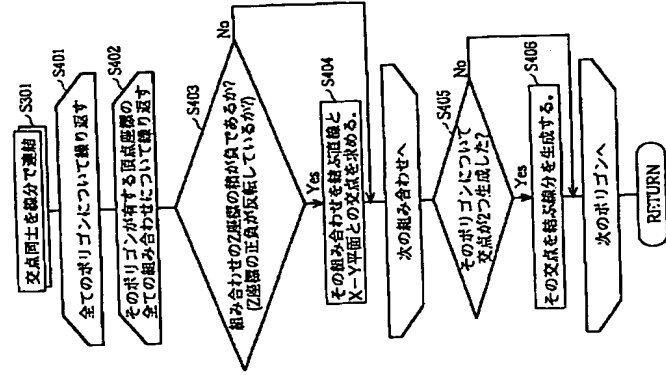
【図30】



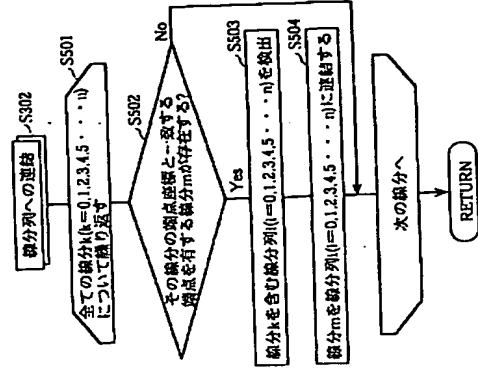
【図12】



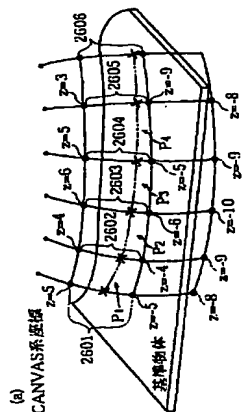
【図16】



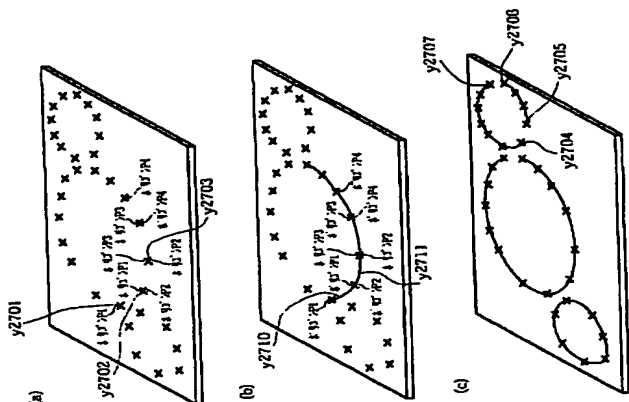
【図17】



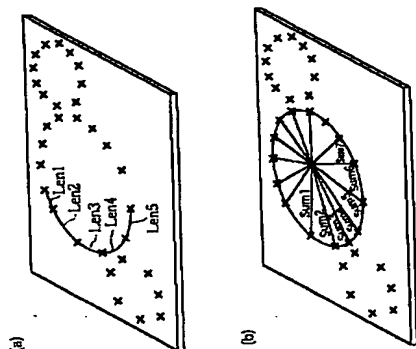
【図18】



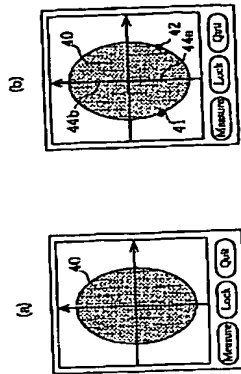
【図19】



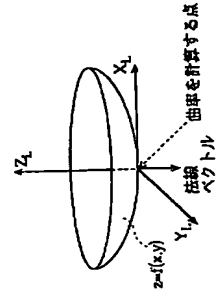
【図20】



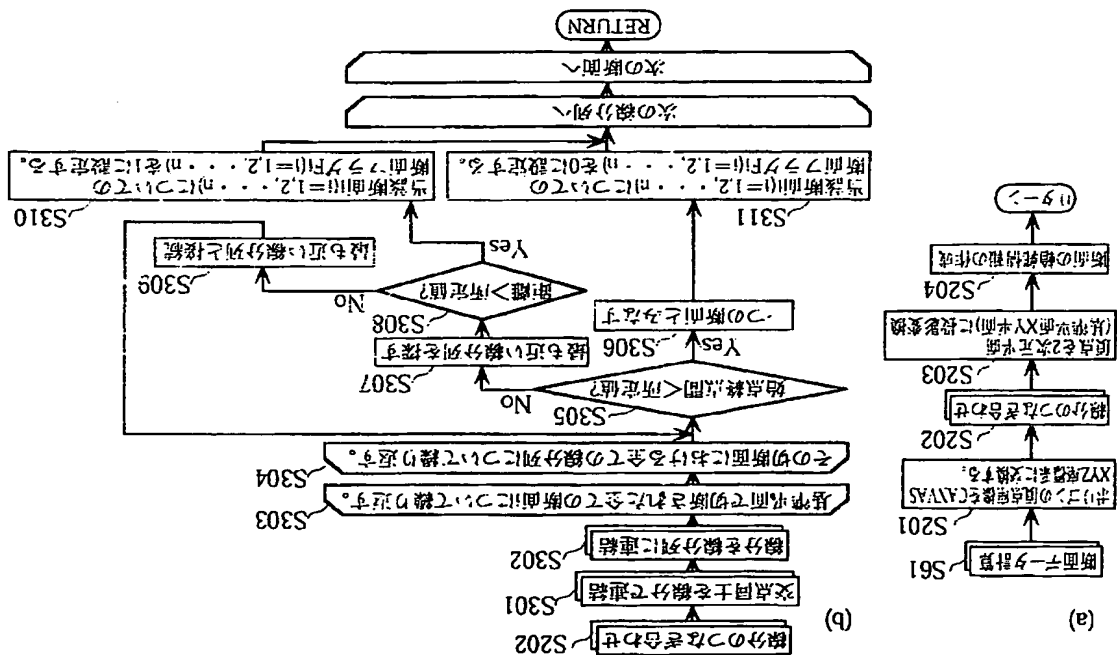
【図23】



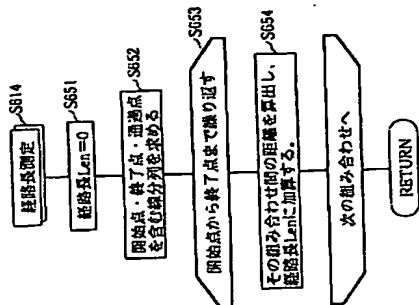
【図33】



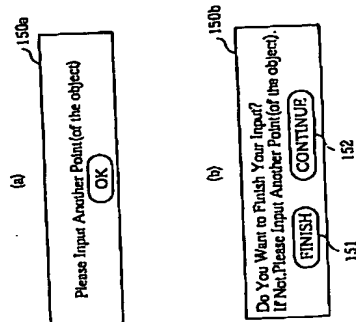
【図15】



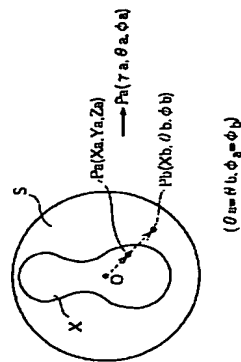
【図25】



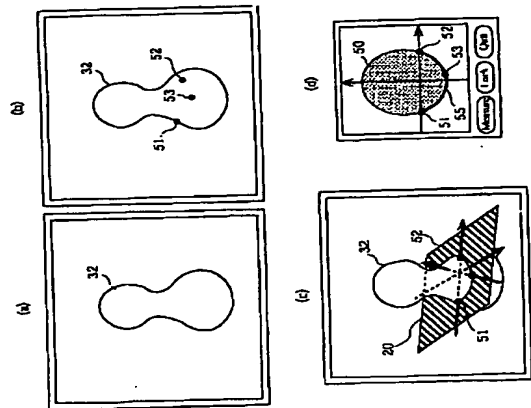
【図27】



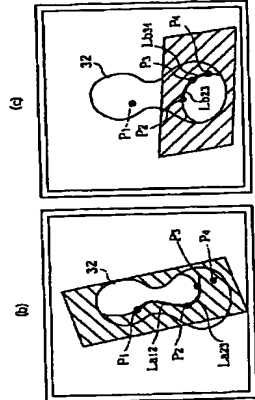
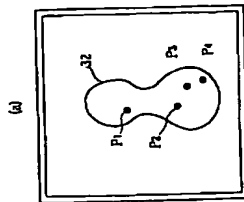
【図37】



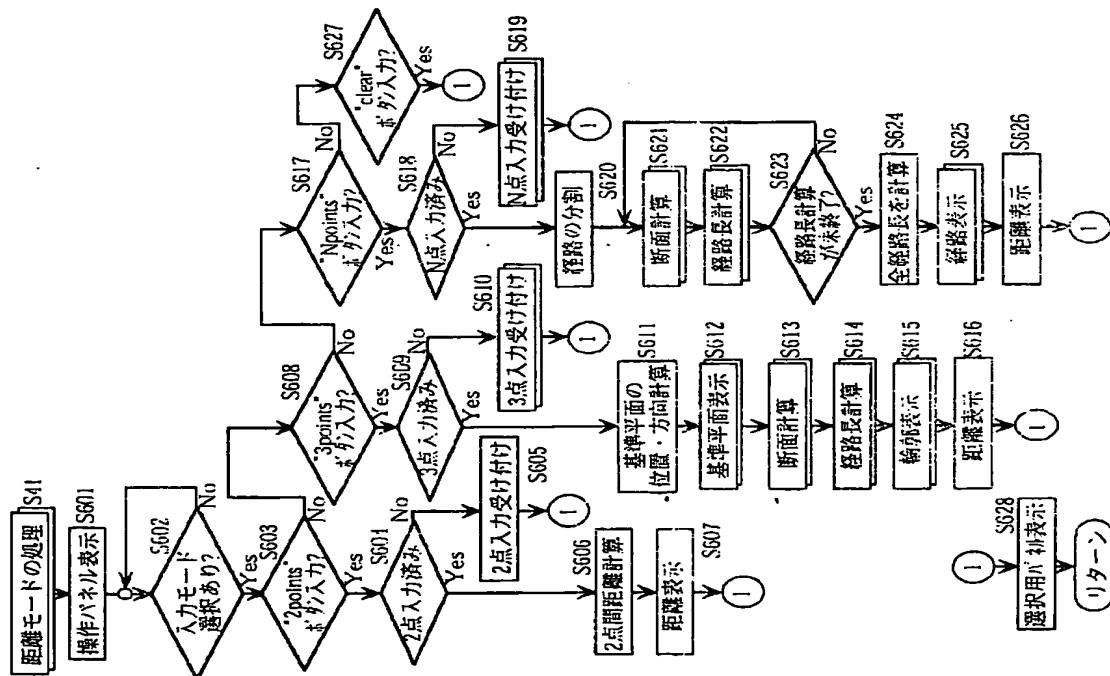
【図24】



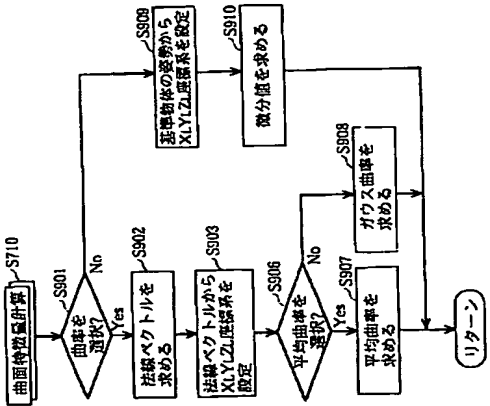
【図26】



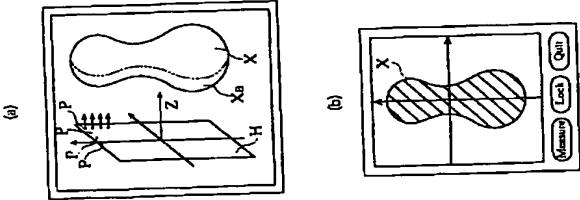
【図21】



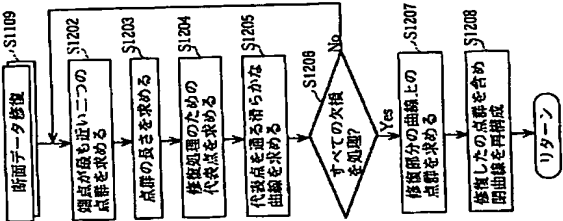
【図34】



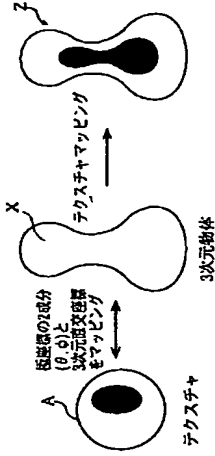
【図35】



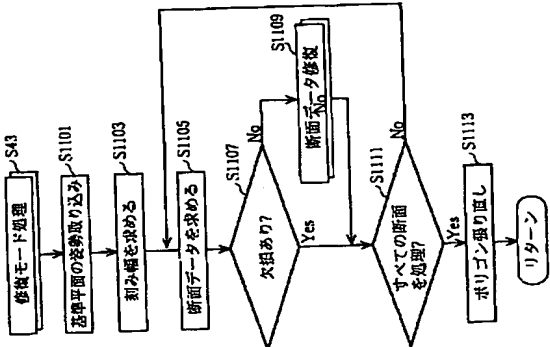
【図36】



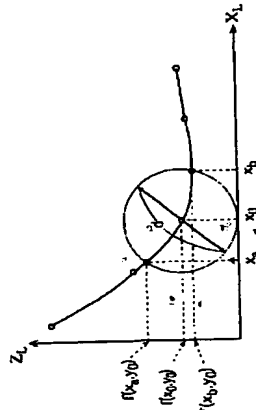
【図36】



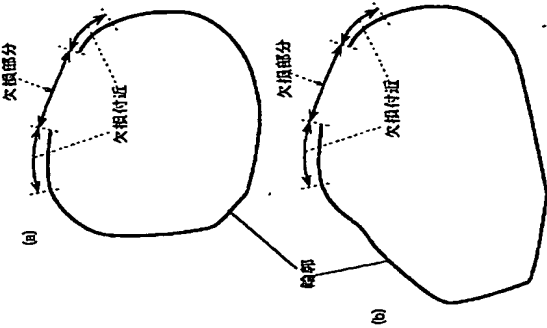
【図41】



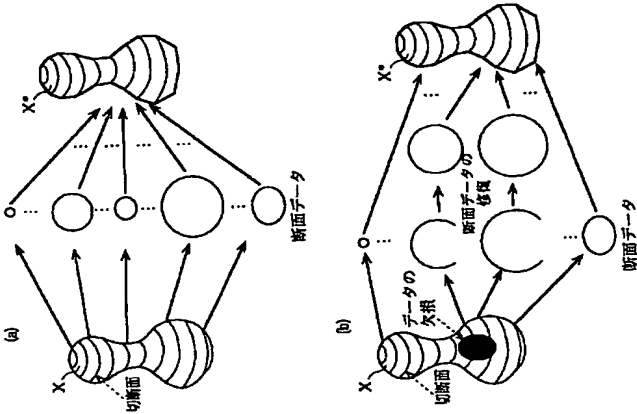
【図39】



【図42】



【図40】



【図44】

